

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 7 月 7 日 (07.07.2005)

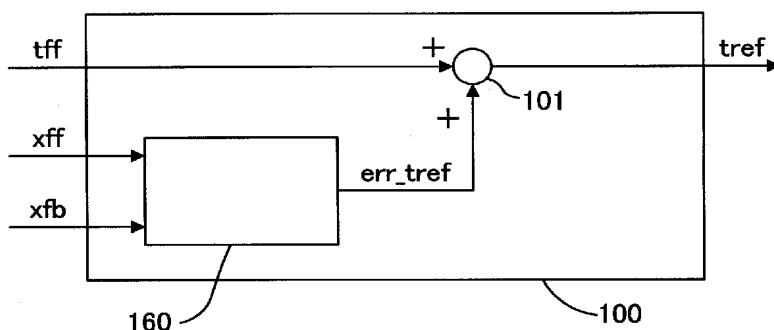
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/062138 A1

- (51) 国際特許分類: **G05B 11/32**
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/015622
- (22) 国際出願日: 2004 年 10 月 21 日 (21.10.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2003-421799  
2003 年 12 月 19 日 (19.12.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社  
安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI)  
[JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石  
2 番 1 号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 萩原 淳 (HAGI-  
HARA, Jun) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡  
西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka  
(JP). 中村 裕司 (NAKAMURA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒  
8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号  
株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,  
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可  
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,  
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,  
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: CONTROL CALCULATION DEVICE

(54) 発明の名称: 制御演算装置



(57) Abstract: When a difference exists between a model considered in feed-forward and an actual device, it is possible to apply, without any problem, control having feed-forward such as prediction control so as to reduce the model difference. Furthermore, it is possible to accurately adjust the response of the actual device by adjusting the balance between the parameters  $\alpha$  and  $\beta$ . A calculator (160) includes: an error signal calculation unit for outputting an error instruction and an error feedback value based on the position feed-forward signal and the position detection value; and an error compensation calculation unit

for performing control so that the error instruction coincides with the error feedback value. The calculator (160) is mounted on a control calculation device (100).

(57) 要約: フィードフォワードで考慮したモデルと実機に誤差がある場合に、モデル誤差の軽減を目的として予測制御のようなフィードフォワードを有する制御を問題なく適用できるようにし、さらにパラメータ  $\alpha$  と  $\beta$  のバランスを調整して実機の応答をより細かく調整できるようにする。位置フィードフォワード信号と位置検出値をもとに誤差指令と誤差フィードバック値を出力する誤差信号算出部と、誤差指令と誤差フィードバック値が一致するように制御する誤差補償演算部とを演算器 (160) に備え、この演算器 (160) を制御演算装置 (100) に設ける。

WO 2005/062138 A1

## 明 細 書

## 制御演算装置

## 技術分野

[0001] 本発明は、制御対象の位置を指令通りに動作させ得る制御演算装置に関する。すなわち、入力される位置指令と検出された電動機の位置・速度検出値に基づいて電動機に対する電流(トルク)指令を生成することにより、電動機と結合された負荷機械の位置決め制御をするサーボ制御装置の制御演算装置に関する。

## 背景技術

[0002] 従来のフィードフォワード信号を用いる制御演算装置は、位置フィードフォワード信号と位置検出値が一致するようにPID制御を行い、且つ、速度フィードフォワード信号と速度検出値が一致するようにPID制御を行っている(例えば、特許文献1参照)。

図7はモータの位置等を制御する従来のモータ制御系の構成を示すブロック図である。図において、1は負荷となる機械類を駆動する電動機、2はこの電動機1に接続されたトルク伝達機構、3はトルク伝達機構2に接続された電動機1によって駆動される負荷機械、19は電動機1の実速度及び実位置を検出して実速度信号 $\omega_M$ 及び実位置信号 $\theta_M$ を出力する位置速度検出器、5はトルク制御回路を表す。

[0003] 減算器24は位置指令信号 $\theta_M^*$ から第1の模擬位置信号 $\theta_{A1}$ を差し引き、得られた偏差信号 $(\theta_M^* - \theta_{A1})$ を第1の位置制御回路25へ出力する。第1の位置制御回路25はその偏差信号 $(\theta_M^* - \theta_{A1})$ が減少するように第1の速度信号 $\omega_1^*$ を減算器26へ出力して $\theta_{A1}$ が $\theta_M^*$ に追従するように制御する。減算器26は第1の位置制御回路25の出力である第1の速度信号 $\omega_1^*$ から第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ を差し引き、得られた偏差信号 $(\omega_1^* - \omega_{A1})$ を第1の速度制御回路16へ出力する。第1の速度制御回路16は偏差信号 $(\omega_1^* - \omega_{A1})$ を入力してその偏差信号 $(\omega_1^* - \omega_{A1})$ が減少するように制御を行い、第1のトルク信号 $T_1^*$ を減算器15へ出力する。減算器15はその第1のトルク信号 $T_1^*$ から補償トルク演算回路14の出力 $T_C$ を差し引き、得られた第3のトルク信号 $T_3^*$ を加算器6と減算器18へ出力する。減算器18は第3のトルク信号 $T_3^*$ からトルク伝達機構模擬回路10の出力である模擬伝達トルク信号 $T_F$ を差し引き、得られた偏

差信号( $T_3^* - T_F$ )を電動機模擬回路27へ出力する。電動機模擬回路27は電動機1の伝達関数を模擬するとともに( $T_3^* - T_F$ )を入力して第1の模擬位置信号 $\theta_{A1}$ を減算器20と減算器24へ出力し、また、第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ を減算器11と減算器12、減算器22へ出力する。減算器11は第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ から第2の模擬速度信号 $\omega_{A2}$ を差し引き、得られた偏差信号( $\omega_{A1} - \omega_{A2}$ )をトルク伝達機構模擬回路10へ出力する。トルク伝達機構模擬回路10はトルク伝達機構2の伝達関数を模擬するとともに、偏差信号( $\omega_{A1} - \omega_{A2}$ )を入力して模擬伝達トルク信号 $T_F$ を負荷機械模擬回路9と減算器18へ出力する。負荷機械模擬回路9は負荷機械3の伝達関数を模擬するとともに、トルク信号 $T_F$ を入力して第2の模擬速度信号 $\omega_{A2}$ を減算器11と減算器2へ出力する。減算器12は第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ から第2の模擬速度信号 $\omega_{A2}$ を差し引き、得られた偏差信号( $\omega_{A1} - \omega_{A2}$ )を補償トルク演算回路14へ出力する。補償トルク演算回路14は偏差信号( $\omega_{A1} - \omega_{A2}$ )を入力して負荷機械が速度指令信号 $\omega_M^*$ に追従するように補償トルク信号 $T_C$ を減算器15へ出力する。減算器20は第1の位置信号 $\theta_{A1}$ から実位置信号 $\theta_M$ を差し引き、得られた偏差信号( $\theta_{A1} - \theta_M$ )を第2の位置制御回路21へ出力する。第2の位置制御回路21は偏差信号( $\theta_{A1} - \theta_M$ )が減少するように第2の速度信号 $\omega_2^*$ を加算器22へ出力し、 $\theta_M$ が $\theta_{A1}$ に追従するように制御する。加算器22は第1の速度信号 $\omega_{A1}$ と第2の速度信号 $\omega_2^*$ を合算して減算器23へ出力する。減算器23は加算器22の出力から実速度信号 $\omega_M$ を差し引き、得られた偏差信号( $\omega_2^* + \omega_{A1} - \omega_M$ )を第2の速度制御回路8へ出力する。第2の速度制御回路8は速度偏差( $\omega_{A1} - \omega_M$ )が減少するように第2のトルク信号 $T_2^*$ を加算器6へ出力して実速度信号 $\omega_M$ が第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ に追従するように制御する。加算器6は第3のトルク信号 $T_3^*$ と第2のトルク信号 $T_2^*$ を合算し、得られたトルク指令信号 $T_M^*$ をトルク制御回路5へ出力する。トルク制御回路5はトルク指令信号 $T_M^*$ を入力して電動機1を駆動する。電動機1はトルク伝達機構2を介して負荷機械3を駆動する。また、電動機1には位置速度検出器19が搭載されており、電動機1の実速度と実位置を検出して実速度信号 $\omega_M$ と実位置信号 $\theta_M$ を出力する。

[0004] 図8は第2の速度制御回路8を説明するブロック図である。図において、速度制御回路8は比例ゲイン $K_{V2}$ の係数器108と積分ゲイン $K_{I2}$ の積分器109で構成されてお

り、速度偏差信号( $\omega_{A1} - \omega_M$ )を入力すると比例積分制御をしてトルク信号 $T_2^*$ を出力するので、外乱トルクが加わった場合でも電動機1の速度 $\omega_M$ が第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ に追従するように制御できる。前述のように第1の速度制御回路16によって $\omega_{A1}$ は $\omega_M^*$ に追従するように制御されるから、最終的に電動機1の速度 $\omega_M$ は速度指令信号 $\omega_M^*$ に追従するように制御される。

図9は第2の位置制御回路21を説明するブロック図である。図において、ゲイン $K_{P2}$ の係数器202は位置偏差( $\theta_{A1} - \theta_M$ )を比例増幅して第2の速度信号 $\omega_2^*$ を出力する。 $\theta_{A1}$ は $\theta_M^*$ に追従するように制御されるから、最終的に電動機1の位置 $\theta_M$ は位置指令信号 $\theta_M^*$ に追従するように制御される。

- [0005] このように、従来の制御演算装置は、フィードフォワード信号 $\theta_{A1}$ および $\omega_{A1}$ と検出値 $\theta_M$ および $\omega_M$ の偏差信号に基づいてPID制御を行い、フィードフォワードモデルの誤差や未知外乱トルクによる影響を小さくしている。

特許文献1:特許第3214270号公報(第10頁、図9)

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] 従来の制御演算装置はPID制御をしており、フィードバック位置ループの比例ゲイン $K_p$ (従来例では $K_{P2}$ )と速度ループの比例ゲイン $K_v$ (従来例では $K_{v2}$ )と積分ゲイン $K_i$ (従来例では $K_{i2}$ )の3つの制御パラメータ値のみで調整していたため、モデル化誤差や外乱の影響を小さくするような外乱特性をきめ細く調整できないという問題があった。

また、外乱特性を向上させるために、例えば予測制御などのようなフィードフォワード制御とフィードバック制御のバランスで効果を発揮する制御則を用いようとした場合、逆に制御性が悪化するという問題もあった。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、フィードフォワードモデルが実際の制御対象に対して誤差を有している場合や、モデルで考慮されていないような未知の外乱があった場合などでも、モデル化誤差や外乱の影響を小さくする外乱特性をきめ細かく調整することができ、また、外乱特性の向上のために、予測制御などのような指令追従性を向上させることを目的とし、フィードバック制御のバランスで

効果を発揮する制御則を適用することができる制御演算装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0007] そこで本発明は、位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ とトルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ とを入力し、前記位置検出値 $x_{fb}$ が前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と一致するように操作量を計算して出力する制御演算装置において、誤差信号算出部と誤差補償演算部とを備え、前記誤差信号算出部は、前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ から前記位置検出値 $x_{fb}$ を減じた偏差 $err$ にゲイン $\alpha$ を乗じた信号を誤差指令 $err_{ref}$ として出力し、且つ、前記偏差 $err$ の符号を変えてゲイン $\beta$ を乗じた信号を誤差フィードバック値 $err_{fb}$ として出力し、前記誤差補償演算部では、前記誤差指令 $err_{ref}$ と前記誤差フィードバック値 $err_{fb}$ が一致するように制御して誤差トルク指令値 $err_{tref}$ を出力し、前記トルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と前記誤差トルク指令値 $err_{tref}$ を加算して前記操作量 $t_{ref}$ とすることを特徴としている。

### 発明の効果

- [0008] 請求項1〜4に記載の本発明によれば、フィードフォワードモデルが実際の制御対象に対して誤差を有している場合や、モデルで考慮されていないような未知の外乱がある場合に、従来の制御演算装置で調整していた3つ制御パラメータ値に加えて、ゲイン $\alpha$ とゲイン $\beta$ の調整により、外乱特性をきめ細かく調節することができるという効果がある。また、外乱特性を向上させるために、例えば予測制御などのような指令追従性を向上させることを目的とし、フィードバック制御のバランスで効果を発揮する制御則を用いようとした場合でも、制御性を良好に保つことができ、結果として全体の制御性能が向上するという効果がある。

- [0009] また、請求項5に記載の発明によると、もともとのフィードフォワード制御とは別に、誤差軽減用に、フィードフォワードを有する制御を問題なく適用することができ、結果として制御性能を向上させることができるという効果がある。

また、請求項6に記載の発明によると、もともとのフィードフォワード制御とは別に、誤差軽減用に予測制御を問題なく適用することができ、結果として制御性能を向上させることができるという効果がある。

また、請求項7に記載の発明によると、二つのパラメータを関係付ける関数を予め決めておくので、調整用のパラメータが一つとなって調整時間を短縮することができるという効果がある。

### 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明の制御演算装置の構成を示す第1実施例のブロック図  
[図2]演算器の構成を示すブロック図  
[図3]誤差補償演算部の構成を示すブロック図  
[図4]第2実施例のブロック図  
[図5]第3実施例のブロック図  
[図6]第4実施例のブロック図  
[図7]従来の制御演算装置の構成を示すブロック図  
[図8]第2の速度制御回路の構成を示すブロック図  
[図9]第2の位置制御回路の構成を示すブロック図

### 符号の説明

- [0011] 100、100B、100C、100D 制御演算装置  
101、102、121、131、134 減算器  
120 誤差信号算出部、 130 誤差補償演算部、 133、151 微分器  
136 積分器  
122、123、124、132、135、137、152 係数器  
140 速度制御部、 150 フィードフォワード制御部  
160 演算器

### 発明を実施するための最良の形態

- [0012] 以下、本発明の制御演算装置について図を用いて説明する。なお、以下で説明する本発明の制御演算装置は、図7に示した従来の制御系において、破線で示した(A)の部分の改良である。

### 実施例 1

- [0013] 図1は、本発明の制御演算装置の第1の実施例の構成を示すブロック図である。図

において、100は本発明の制御演算装置、101は加算器、160は演算器である。図2は演算器160の構成を示すブロック図である。図中、120は誤差信号算出部、130は誤差補償演算部であり、121は減算器、122は符号反転器、123は係数が $\alpha$ の計数器、124は係数が $\beta$ の計数器である。

このような制御演算装置100の構成において、トルクフィードフォワード信号 $tff$ が加算器101に入力され、位置フィードフォワード信号 $xff$ と位置検出信号 $xfb$ が誤差信号算出部120に入力されると、加算器101はトルクフィードフォワード信号 $tff$ と演算機160が演算する誤差トルク指令 $err\_tref$ を入力して加算し、トルク指令 $tref$ を出力する。誤差信号算出部120の減算器121が位置フィードフォワード信号 $xff$ と位置検出信号 $xfb$ を入力すると、減算して位置偏差 $err$ を求め、符号反転器122と係数が $\alpha$ の計数器123へ出力する。符号反転器122は入力した位置偏差 $err$ の符号を反転して係数が $\beta$ の計数器124へ出力する。そして計数器123は演算結果の誤差指令 $err\_ref$ を誤差補償演算部130へ出力し、計数器124は演算結果の誤差フィードバック値 $err\_fb$ を誤差補償演算部130へ出力する。この誤差信号算出部120の入出力の関係を数式で表すと次のようになる。

$$err\_ref = \alpha \cdot (xff - xfb) \quad (1)$$

$$err\_fb = \beta \cdot (xfb - xff) \quad (2)$$

この式において、2つの係数 $\alpha$ 、 $\beta$ はゲインのことであり、任意に設定可能である。このとき、 $\alpha$ と $\beta$ の和が固定値1となるように関係付けておけば( $\alpha + \beta = 1$ )、どちらか一方のパラメータを調整すれば他方が決まるため、調整を簡単にすることが可能になる。 $\alpha$ と $\beta$ の関係付けは、そのような式に限定されることは無く、任意に設定することができる。

誤差補償演算部130は、誤差指令 $err\_ref$ と誤差フィードバック値 $err\_fb$ を入力すると、これらが一致するように誤差補正演算をして誤差トルク指令 $err\_tref$ を求め、加算器101へ出力する。

[0014] 図3は誤差補償演算部130の構成を示すブロック図である。図において、131、134は減算器であり、138は加算器である。また151、133は微分器、136は積分器であり、 $S$ はラプラス演算子を表している。また132、135、137、152はそれぞれ係数 $K_p$

、 $K_v$ 、 $K_i$ 、 $K_f$ の係数器であり、微分器151と係数器152とでFF制御部150をなしている。ここに示した誤差指令 $err\_ref$ と誤差フィードバック値 $err\_fb$ が一致するような制御をするのであれば、図のような構成に限られるのではなく、例えばPID制御を用いてもよいし、制御対象のモデルを用いた2自由度制御などフィードフォワード制御とフィードバック制御からなる制御を用いても良い。また制御対象のモデルを用いた逆伝達関数補償のようなものを用いても良い。

- [0015] 本実施例では、図3に示すようなフィードフォワード制御とフィードバック制御からなる制御を用いる場合を説明する。図中150がフィードフォワード制御部であり、誤差補償演算部130の出力は式(3)のように計算される。

$$out = K_v \cdot (1 + K_i/s) \cdot \{K_p \cdot (err\_ref - err\_fb) + K_f \cdot s \cdot err\_ref - s \cdot err\_fb\} \quad (3)$$

このようになっているため、外乱特性の調整の際は、ゲイン $K_p$ 、 $K_v$ 、 $K_i$ 、 $K_f$ に加えて、ゲイン $\alpha$ とゲイン $\beta$ も調整できるようになるため、より細かく外乱特性を調整でき、結果として制御性能が向上する。

- [0016] 図4は第2実施例の構成を示す図である。図1、図2と同じ記号の要素は、全て同一である。実施例2では、位置とトルクのフィードフォワード信号だけでなく速度フィードフォワード信号 $vff$ が入力されていることと、速度制御部140が追加されている点が実施例1と異なる点である。速度制御部140には一般的に比例積分制御が用いられることが多い。

この場合、速度フィードフォワード信号 $vff$ と速度検出値 $vfb$ の偏差 $verr$ を速度制御部140に入力し、速度制御部140から出力されたフィードバックトルク指令 $tfb$ とトルクフィードフォワード信号 $tff$ と演算器160の誤差補償演算部130より出力された誤差トルク指令 $err\_tref$ の3つを足し合わせたものを操作量であるトルク指令値 $tref$ とする。

このように、位置偏差 $err$ を用いて誤差を補償するために誤差補償演算部130で計算された誤差トルク指令 $err\_tref$ とは別に、速度フィードフォワード信号 $vff$ と速度検出値 $vfb$ との誤差を補償する通常速度制御部140も有する構成をしているので、さらに、外乱に対する特性を向上させることができる。

- [0017] 図5は第3実施例の構成を示す図である。実施例3は図4に示す実施例2と構成要素は同じであるが、演算器160の中の誤差補償演算部130の出力が誤差トルク指令



err\_trefであったのに対し、図5の中の演算器160の中の誤差補償演算部130の出力は、誤差速度指令err\_vrefとなる点が異なる。

この場合、速度フィードフォワードvffと誤差速度指令err\_vrefを加算し、速度検出値vfbを減じた信号を速度偏差verrとして速度制御部140への入力とし、速度制御部140の出力であるフィードバックトルク指令tfbとトルクフィードフォワード信号tffを加算したものを操作量であるトルク指令trefとして出力することになる。

[0018] 本実施例の誤差補償演算部130では特に予測制御を用いた場合を示す。

予測制御には、例えば特開平7-028508号公報に記載された「予見制御装置」や特開平5-820489号公報に記載された「予見制御装置」等の装置が知られている。特開平7-028508号公報に記載された発明を用いた場合は、今回のサンプリングをi番目とした時、予測区間をMとし、検出遅れKと、重み係数 $w_m$ と、重み係数 $\alpha$ と、重み係数 $c$ と、重み係数 $c_d$ と、今回の位置偏差 $e(i-K)$ と、m個先の偏差の予測値 $e^*(i+m)$ とからなる式(5)の評価関数Jを最小にする制御入力 $u(i)$ を、式(6)で求める。

[数1]

$$r(i) = err\_ref(i), \quad y(i) = err\_fb(i), \quad u(i) = vref\_err(i) \quad (4)$$

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha \cdot e(i-K)\}^2 + c \{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (5)$$

$$u(i) = \sum_{m=-K+1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-K-n) - \sum_{n=1}^{N_b+K-1} g_n u(i-n) + E e(i-K) \quad (6)$$

ここで、 $\Delta r(i)$ は指令 $r(i)$ の制御周期毎の増分値であり、 $\Delta y(i)$ は制御対象の出力 $y(i)$ の制御周期毎の増分値を表わしている。また、 $N_a$ と $N_b$ はそれぞれ、制御入力 $u$ から $\Delta y$ までの伝達特性をパルス伝達関数で表した時の分母の次数と分子の次数を表わしている。

[0019] 式(6)の中のパラメータ $v_m$ 、 $p_n$ 、 $g_n$ 、 $E$ は制御対象のモデルとそれぞれの重みの値から計算される値であり、計算方法は特開平7-028508号公報に記載された「予見制御装置」で詳細に記されているのでここでは省略する。

このように、従来の装置の位置制御部の部分のみを本発明の方式に置き換えることで、今まで適用できなかった予測制御なども問題なく適用可能となり、結果として制御性能が向上する。

[0020] 図6は第4実施例の構成を示す図である。実施例4は図5に示す実施例3とほとんど

同一であるが、トルクフィードフォワード信号 $u_{ff}$ が入力されないところが唯一異なる点である。この構成は、例えばトルクフィードフォワード信号を用いると、応答が振動的になる場合やトルク飽和が起こる場合などに有効である。このようにトルクフィードフォワード信号を用いない構成でも、本発明の効果を発揮することが可能である。

#### 産業上の利用可能性

- [0021] フィードフォワードで考慮したモデルと実機に誤差がある場合に、モデル誤差軽減の目的で予測制御のようなフィードフォワードを有する制御を問題なく適用できる、且つ、パラメータ $\alpha$ と $\beta$ のバランスを調整すれば、実機の応答をより細かく調整できるので、高速応答、高精度の位置決めが要求される半導体製造装置や電子部品実装装置、ロボット、工作機械などの用途にも適用できる。

### 請求の範囲

- [1] 位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ とトルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ とを入力し、前記位置検出値 $x_{fb}$ が前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と一致するように操作量を計算して出力する制御演算装置において、
- 誤差信号算出部と誤差補償演算部とを備え、前記誤差信号算出部は、前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ から前記位置検出値 $x_{fb}$ を減じた偏差 $err$ にゲイン $\alpha$ を乗じた信号を誤差指令 $err_{ref}$ として出力し、
- 且つ、前記偏差 $err$ の符号を変えてゲイン $\beta$ を乗じた信号を誤差フィードバック値 $err_{fb}$ として出力し、
- 前記誤差補償演算部では、前記誤差指令 $err_{ref}$ と前記誤差フィードバック値 $err_{fb}$ が一致するように制御して誤差トルク指令値 $err_{tref}$ を出力し、
- 前記トルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と前記誤差トルク指令値 $err_{tref}$ を加算して前記操作量 $t_{ref}$ とする
- ことを特徴とする制御演算装置。
- [2] 位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と速度フィードフォワード信号 $v_{ff}$ とトルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ と前記制御対象の速度検出値 $v_{fb}$ とを入力し、前記制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ が前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と一致するように操作量を計算し出力する速度制御部を有する制御演算装置において、
- 誤差信号算出部と誤差補償演算部とを備え、前記誤差信号算出部は、前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ から前記位置検出値 $x_{fb}$ を減じた偏差 $err$ にゲイン $\alpha$ を乗じた信号を誤差指令 $err_{ref}$ として出力し、
- 且つ、前記偏差 $err$ の符号を変えてゲイン $\beta$ を乗じた信号を誤差フィードバック値 $err_{fb}$ として出力し、
- 前記誤差補償演算部では、前記誤差指令 $err_{ref}$ と前記誤差フィードバック値 $err_{fb}$ が一致するように制御して誤差トルク指令値 $err_{tref}$ を出力し、
- 前記速度フィードフォワード信号 $v_{ff}$ から速度検出値 $v_{fb}$ を減じた信号 $v_{err}$ を前記速度制御部へ入力し、
- 前記トルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と前記速度制御部から出力されるフィードバック

トルク指令値 $t_{fb}$ と前記誤差トルク指令値 $err\_tref$ を足し合わせたものを前記操作量 $tref$ とする

ことを特徴とする制御演算装置。

- [3] 位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と速度フィードフォワード信号 $v_{ff}$ とトルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ と前記制御対象の速度検出値 $v_{fb}$ を入力し、前記制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ が前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と一致するように操作量を計算して出力する速度制御部を有する制御演算装置において、

誤差信号算出部と誤差補償演算部とを備え、前記誤差信号算出部は、前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ から前記位置検出値 $x_{fb}$ を減じた偏差 $err$ にゲイン $\alpha$ を乗じた信号を誤差指令 $err\_ref$ として出力し、

且つ、前記偏差 $err$ の符号を変えてゲイン $\beta$ を乗じた信号を誤差フィードバック値 $err\_fb$ として出力し、

前記誤差補償演算部では、前記誤差指令 $err\_ref$ と前記誤差フィードバック値 $err\_fb$ が一致するように制御して誤差速度指令値 $err\_vref$ を出力し、

前記速度フィードフォワード信号 $v_{ff}$ と前記誤差速度指令値 $err\_vref$ を足し合わせ、且つ速度検出値 $v_{fb}$ を減じた信号 $verr$ を前記速度制御部へ入力し、

前記トルクフィードフォワード信号 $t_{ff}$ と前記速度制御部から出力されるフィードバックトルク指令値 $t_{fb}$ を足し合わせたものを前記操作量 $tref$ とする

ことを特徴とする制御演算装置。

- [4] 位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と速度フィードフォワード信号 $v_{ff}$ と制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ と前記制御対象の速度検出値 $v_{fb}$ とを入力し、前記制御対象の位置検出値 $x_{fb}$ が前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ と一致するように操作量を計算して出力する速度制御部を有する制御演算装置において、

誤差信号算出部と誤差補償演算部とを備え、前記誤差信号算出部は、前記位置フィードフォワード信号 $x_{ff}$ から前記位置検出値 $x_{fb}$ を減じた偏差 $err$ にゲイン $\alpha$ を乗じた信号を誤差指令 $err\_ref$ として出力し、

且つ、前記偏差 $err$ の符号を変えてゲイン $\beta$ を乗じた信号を誤差フィードバック値 $err\_fb$ として出力し、

前記誤差補償演算部では、前記誤差指令 $err\_ref$ と前記誤差フィードバック値 $err\_fb$ が一致するように制御して誤差速度指令値 $err\_vref$ を出力し、

前記速度フィードフォワード信号 $vff$ と前記誤差速度指令値 $err\_vref$ を足し合わせ、且つ速度検出値 $vfb$ を減じた信号 $verr$ を速度制御部へ入力し、

前記速度制御部から出力される信号を前記操作量 $tref$ とする

ことを特徴とする制御演算装置。

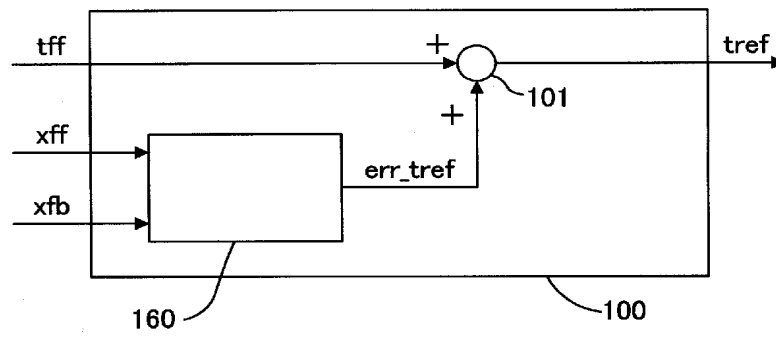
[5] 前記誤差補償演算部ではフィードフォワード制御とフィードバック制御を行うことを特徴とする請求項1乃至4に記載のいずれかの制御演算装置。

[6] 前記誤差補償演算部では、制御対象のモデルを用いて求めた未来偏差の予測値と制御入力に関する評価関数が最小となるよう制御入力を決定する予測制御を行うものとし、前記未来偏差は前記誤差指令 $err\_ref$ と前記誤差フィードバック値 $err\_fb$ の差であり、前記制御入力を誤差補償演算部の出力とする

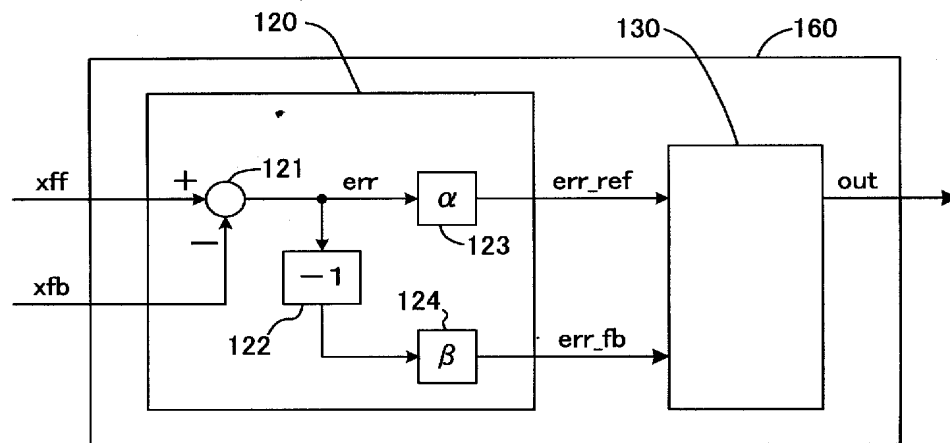
ことを特徴とする請求項1乃至4に記載のいずれかの制御演算装置。

[7] 前記ゲイン $\alpha$ と前記ゲイン $\beta$ の関係が所定の関数で表され、どちらか一方の値を決めると、もう一方の値が自動的に決定されることを特徴とする請求項1乃至6に記載のいずれかの制御演算装置。

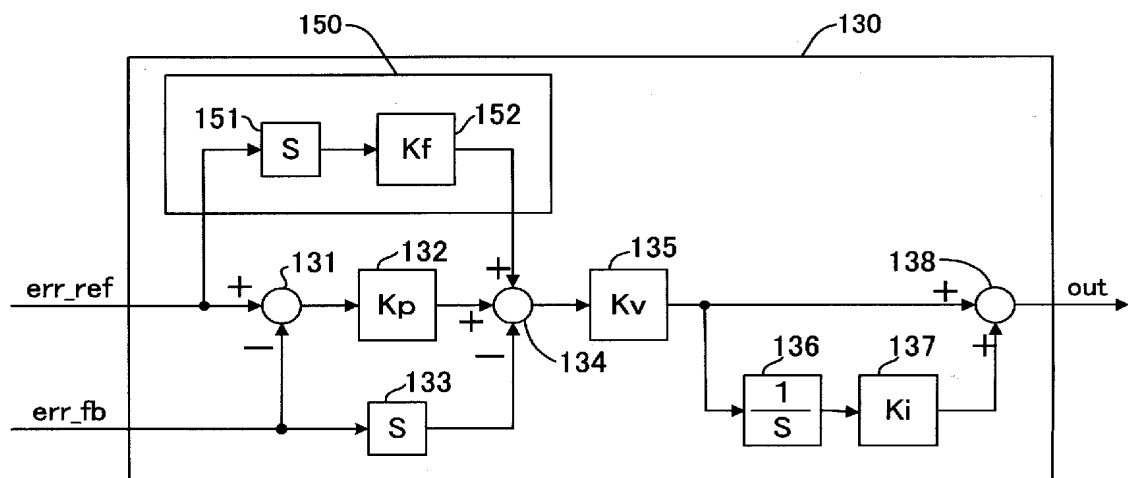
[[図1]]



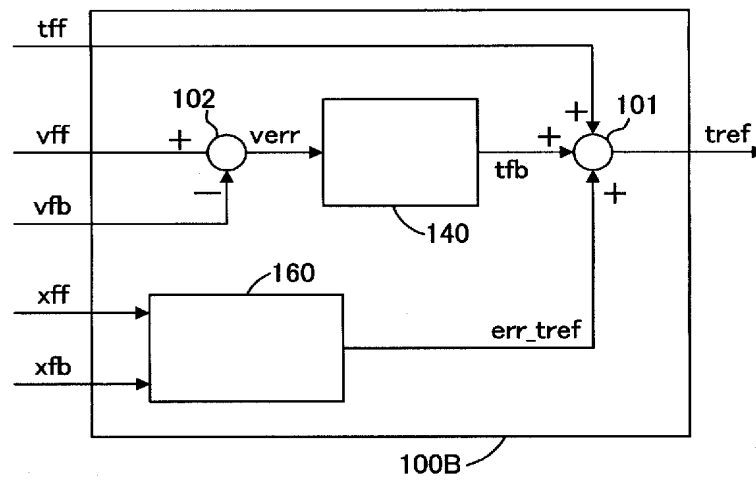
[[図2]]



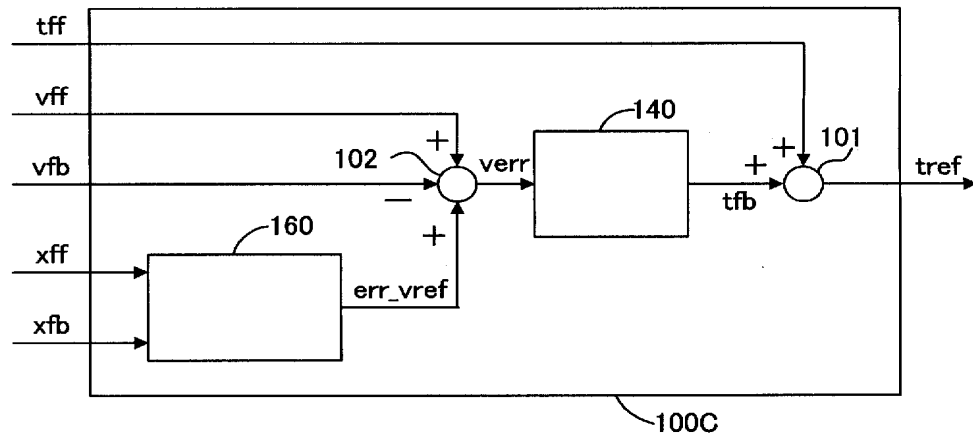
[[図3]]



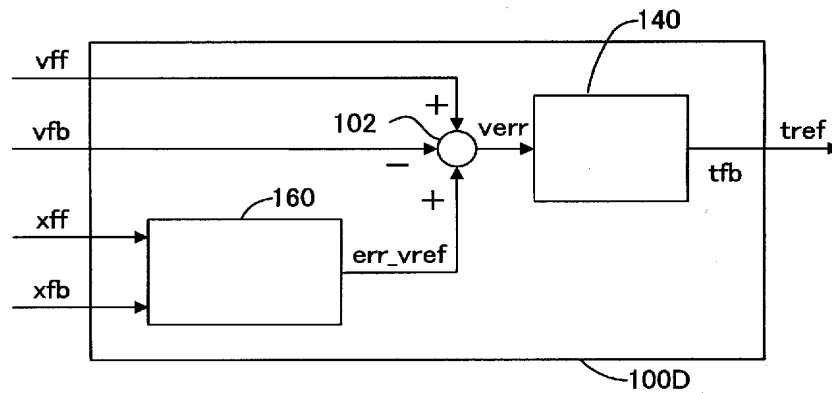
[図4]



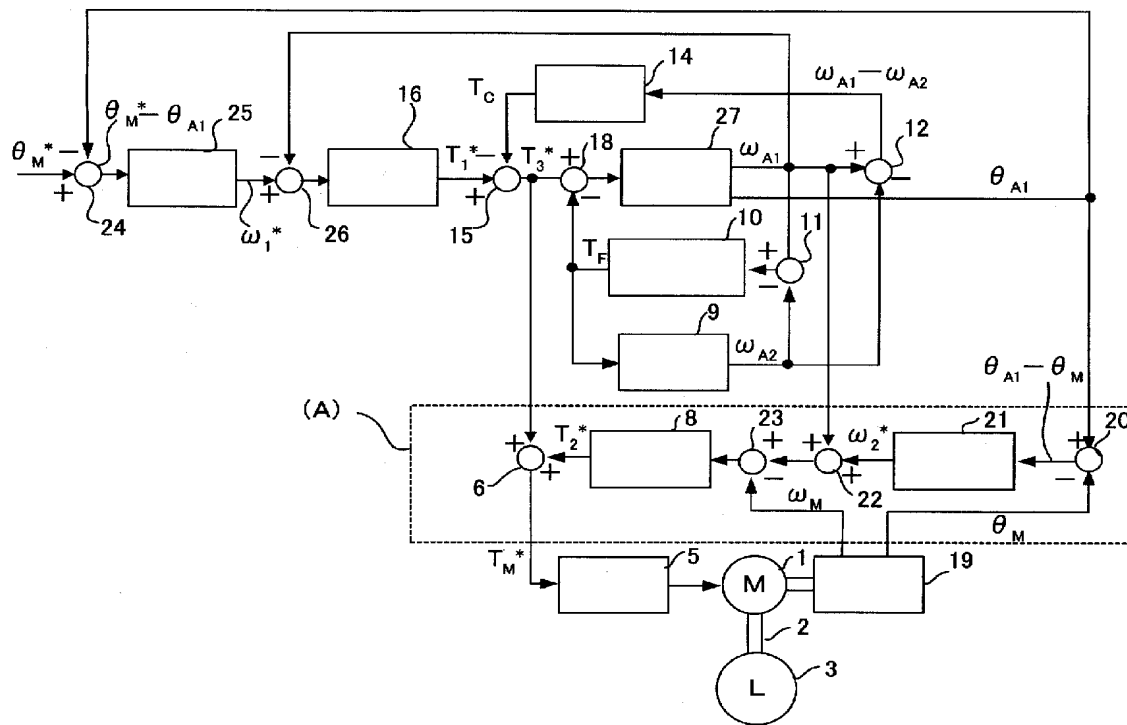
[図5]



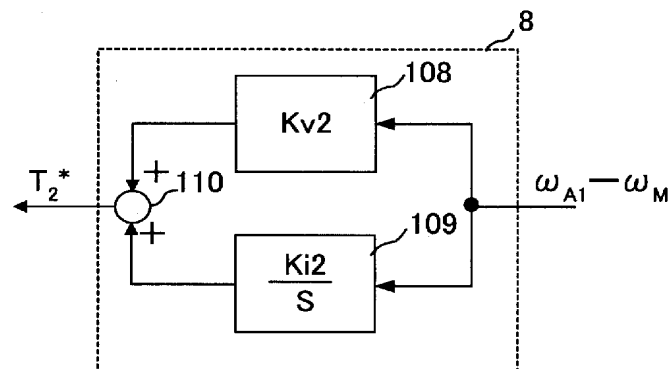
[図6]



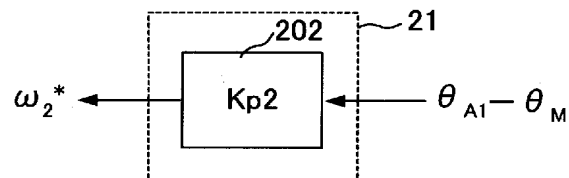
[図7]



[図8]



[図9]





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015622

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G05B11/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G05B11/32, G05D3/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 3214270 B2 (Mitsubishi Electric Corp.), 27 July, 2001 (27.07.01), (Family: none)	1-7
A	JP 2001-249720 A (Mitsubishi Electric Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Fig. 8 (Family: none)	1-7
A	JP 6-30578 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 February, 1994 (04.02.94), & GB 2267361 A & DE 4318923 A1 & US 5428285 A	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

### \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
18 January, 2005 (18.01.05)

Date of mailing of the international search report  
01 February, 2005 (01.02.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G05B11/32

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G05B11/32, G05D3/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 3214270 B2 (三菱電機株式会社) 2001. 07. 27 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2001-249720 A (三菱電機株式会社) 2001. 09. 14, 図8 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 6-30578 A (三菱電機株式会社) 1994. 02. 04 & GB 2267361 A & DE 4318923 A1 & US 5428285 A	1-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 01. 2005

国際調査報告の発送日

01.02.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

槻木澤 昌司

3H

9326

電話番号 03-3581-1101 内線 3314